

PRVPATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET
Patentavdelningen

REC'D 24 DEC 2003

WIPO

PCT

**Intyg
Certificate**

Härmed intygas att bifogade kopior överensstämmer med de handlingar som ursprungligen ingivits till Patent- och registreringsverket i nedannämnda ansökan.

This is to certify that the annexed is a true copy of the documents as originally filed with the Patent- and Registration Office in connection with the following patent application.

BEST AVAILABLE COPY



(71) Sökande Westinghouse Atom AB, Västerås SE
Applicant (s)

(21) Patentansökningsnummer 0203815-6
Patent application number

(86) Ingivningsdatum
Date of filing

2002-12-20

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

Stockholm, 2003-12-16

För Patent- och registreringsverket
For the Patent- and Registration Office

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

Sonia André
Sonia André

Avgift
Fee

**PRIORITY
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

sb/

ref. 55678 SE

5 Sökande: Westinghouse Atom AB

Kärnbränslestav

UPPFINNINGENS BAKGRUND OCH TIDIGARE TEKNIK

10

Föreliggande uppfinning avser en kärnbränslestav för en kärnreaktor av kokarvattentyp respektive av tryckvattentyp, innefattande ett kapslingsrör som definierar ett slutet inre utrym-

15

gruppen zirkonium och en zirkonimbaserad legering, en stapel med kärnbränslekutsar anordnade i det inre utrymmet i kapslingsröret så att kärnbränslekutsarna fyller ut en del av det inre utrymmet, och en fyllgas anordnad i det slutna inre utrymmet för att fylla ut resten av det inre utrymmet, varvid

20

fyllgasen innehåller en andel helium och en andel kolmonoxid. Uppfinningen avser också en kärnbränslepatron innefattande en sådan kärnbränslestav. Vidare avser uppfinningen ett förfarande för tillverkning av en kärnbränslestav för en kärnreaktor av kokarvattentyp respektive av tryckvattentyp.

25

En nukleär anläggning innefattar en reaktor med en härd som bildas av ett antal bränslepatroner. Varje bränslepatron innefattar ett flertal långsträckta, parallella kärnbränslestavar och ett flertal spridare axiellt fördelade utmed och förbundna med

30

kärnbränslestavarna. Varje kärnbränslestav innefattar ett kapslingsrör och kärnbränsle som är inneslutet i kapslingsröret. Kärnbränslet innefattar vanligen uran som är sammanpressat till bränslekutsar anordnade på varandra i en stapel i kapslingsröret. När den nukleära anläggningen är i drift kylv

35

reaktorhärden med hjälp av ett kylmedel som pumpas uppåt genom reaktorhärden.

Komponenter i nukleära anläggningar utsätts ofta för angrepp orsakade av hydrering och oxidation. Det är känt att förse sådana utsatta komponenter med en ytbeläggning för att skydda

5 komponenterna. Kapslingsrören hos kärnbränslestavarna är ett exempel på sådana komponenter. Angrepp på ett kapslingsrör innebär i värsta fall att en skada som sträcker sig genom hela tjockleken av kapslingsröret uppstår, varvid det radioaktiva kärnbränslet och dess fissionsprodukter som finns inne i

10 kapslingsröret kan läcka ut i reaktorns kylvatten. När det gäller skador på kapslingsrören skiljer man mellan primärskador och sekundärskador.

En primärskada uppstår genom angrepp på den yttre ytan av

15 kapslingsröret och orsakas i synnerhet av nötning av främmande föremål. En liten nötningsskada ger normalt inte upphov till någon påtaglig upplösning och urtvättning av kärnbränslestavens urankutsar. En primärskada kan dock sträcka sig genom hela tjockleken av kapslingsröret. En sådan primärskada innebär att vatten, vattenånga eller en kombination av dessa

20 strömmar in i kapslingsröret i ett utrymme mellan kärnbränslet och den inre ytan hos kapslingsröret.

Då en primärskada har utvecklats finns en kommunikationsväg mellan kapslingsrörets inre utrymme och reaktorns kylvatten. Således kommer vatten och ånga att tränga in i kärnbränslestaven tills kärnbränslestavens interna tryck P_i är detsamma som reaktorns systemtryck P_{sys} . Under detta förlopp oxiderar kapslingsrörets insida och urankutsen under frigörande av väte från vattenmolekylerna. Detta leder i sin tur till att man på avstånd från primärskadan kan erhålla en miljö med mycket högt partialtryck av väte, ppH_2 , s.k. "oxygen starvation" eller "steam starvation". I en sådan miljö tenderar kapslingens insida att mycket snabbt absorbera väte, så kallad hydrering. Hydreringen kan leda till en lokalt mycket hög vätekoncentration i kapslingen, vilket kallas sekundär degra-

25

30

35

dering och vilket i sin tur kraftigt försämrar kapslingens mekaniska egenskaper. Kapslingen blir mycket spröd och detta kan p.g.a. självinducerade spänningar eller p.g.a. yttre belastning ge upphov till sprickinducering, spricktillväxt och utvecklandet av en sekundär bränsleskada. Sekundärskador har ofta formen av långa sprickor eller tvärbrott, vilket medför att de är en allvarlig form av skada.

Om en skada uppstår så att vatten strömmar in i kärnbränslestaven kommer vattnet att förångas och vattenmolekyler att dissociera, varvid kapslingsrörets inneryta oxiderar och fritt väte bildas i det inre utrymmet. Det fria vätet kommer att absorberas av det zirkonymbaserade kapslingsröret, varvid ovan nämnda försprödning uppstår. Absorptionen sker i synnerhet på de ytor där något oxidlager ännu ej har bildats. Denna process är relativt snabb. Oxidationsprocessen initieras omedelbart efter det att en primärskada har uppstått. Detta leder snabbt till att en miljö med mycket högt partialtryck väte uppkommer på avstånd från primärskadan. Som en följd av detta är de närmaste timmarna och dygnen efter det att en primärskada har uppstått av mycket stor betydelse för möjligheterna att påverka den sekundära hydreringen och därmed risken för att en sekundärskada uppstår. Ett problem i sammanhanget är att vätgas diffunderar snabbare i den heliumgas som normalt finns i det inre utrymmet än vattenmolekylerna. Vätgasen kommer således att nå fram till de fria ytorna snabbare än vattenmolekylerna som annars skulle kunna reagera med ytan under bildande av ett skyddande oxidskikt på zirkoniumytan.

US-4 609 524 visar ett slutet rör för en kärnreaktor. Röret är avsett att innehålla kärnbränsle och/eller en neutronabsorbator. Bränslet och eller absorbatorn är inneslutna i röret tillsammans med en fyllgas bestående av He och en tillsatsgas innefattande någon av gaserna O_2 , CO och CO_2 . Syftet med tillsatsgasen är att åstadkomma ett tunt oxidskikt på kapslingsrörets inneryta.

Oxidskiktet är tänkt att reducera genomsläppligheten av tritium (väteisotop) genom röret under normal drift. Enligt vad som anges i detta dokument frigörs tritium under bestrålningen i kärnreaktorn. Dokumentet diskuterar inte de problem som uppstår i samband med skador på bränslestavar. Syftet med tillsatsgasen är således inte att förhindra hydrering och sekundär degradering. Mängden tillsatsgas i fyllgasen uppgår till 2-3 volymprocent av mängden helium. Mängden tillsatsgas i förhållande till mängden fyllgas är således mindre än 3 volymprocent.

10

SAMMANFATTNING AV UPPFINNINGEN

Ändamålet med föreliggande uppfinning är att förbättra kärnbränslestavens motståndskraft mot sekundär degradering. Närmare bestämt avser uppfinningen att förhindra sekundär hydrering och en sekundärskada efter det att en genomgående primärskada har uppkommit på en kärnbränslestav. Även om uppkomsten av en primärskada är ovanlig vinner man väsentliga fördelar om man kan minska risken att en primärskada leder till sekundär hydrering, sekundär degradering och uppkomsten av en sekundärskada.

Detta ändamål uppnås med den inledningsvis angivna kärnbränslestaven för en kärnreaktor av kokarvattentyp, vilken kännetecknas av att det interna trycket av fyllgasen i kärnbränslestaven uppgår till åtminstone 2 bar (abs) och att andelen kolmonoxid är åtminstone 3 volymprocent av fyllgasen. Uppfinningen innebär att en viss fraktion av den fyllgas som tillsätts i samband med tillverkning av bränslestaven ska utgöras av kolmonoxid. Fyllgasen kan således utgöras av en blandning av helium och kolmonoxid. Eftersom kolmonoxid inte förbrukas genom absorption av bränslet eller kapslingsröret säkerställs att fyllgasen kommer att innehålla kolmonoxid även efter att kärnbränslestaven har varit i drift under en väsentlig del av sin totala driftstid. Uppfinningen har sin grund i insikten att en modifiering av den normalt använda fyllgasen minskar kapsling-

ens förmåga att absorbera väte. Undersökningar har visat att CO har en effekt som inte i sig medför oxidation av Zr, utan snarare innebär blockering av adsorptionsplatser för väte, dvs CO adsorberas i de positioner vid zirkoniumytan där annars väte skulle ha adsorberats för att senare absorberas av zirkoniummaterialet. Den nedre begränsningen för partialtrycket CO i förhållande till partialtrycket He, $ppCO/ppHe$, definieras av den mängd kolmonoxid som åtgår för att erhålla en väsentlig reduktion av väteabsorptionshastigheten efter en tänkt primärskada, medan en övre gräns för $ppCO/ppHe$ begränsas av gasblandningens termiska ledningsförmåga. Om fyllgasens termiska ledningsförmåga drastiskt sänks, jämfört med fallet då fyllgasen utgörs av väsentligen enbart helium, försämras ledningsförmågan mellan bränslekutsarna och kapslingen, vilket resulterar i en förhöjd kutstemperatur och en ökad fissionsgasavgivning. En viss försämring av gasblandningens ledningsförmågan är acceptabel, men den övre gränsen för $ppCO/ppHe$ måste väljas så att fissionsgasavgivningen inte ger en oönskad utbränningsbegränsning. Detta innebär följaktligen att den övre gränsen för $ppCO/ppHe$ är beroende av den utbränningsnivå som den aktuella kärnbränslestaven är tänkt att exponeras för.

Då man betraktar ytan av en komponent tillverkad av zirkonium eller en zirkoniumbaserad legering kan man även iaktta att gaser har en varierande benägenhet för adsorption på den aktuella ytan. CO har en relativt hög adsorptionsbenägenhet som kan inordnas schematiskt enligt följande: $H_2O > CO > H_2 > N_2 > He$. Undersökningar i laboratorium har visat att även en mindre fraktion av CO i fyllgasen i den i krav 1 angivna storleksordningen kraftigt minskar det zirkoniumbaserade materialets väteabsorptionshastighet Zr. Detta innebär att väteabsorptionshastigheten kan reduceras under det väsentliga förloppet direkt efter det att en primärskada har uppkommit. Då man på detta sätt skulle kunna undvika väteabsorption som ger upphov till lokalt mycket höga vätehalter, kan man även kraftigt reducera risken för uppkomsten av sekundärskador.

Enligt en utföringsform av uppfinningen utgör andelen kolmonoxid åtminstone 4 volymprocent av fyllgasen. Sökanden har visat att den efterstävade effekten att förhindra väteabsorption förbättras med en ökande andel kolmonoxid i fyllgasen. Med fördel kan således andelen kolmonoxid utgöra åtminstone 5 volymprocent av fyllgasen och ännu mer fördelaktigt åtminstone 6 volymprocent av fyllgasen.

- 5
- 10 Ändamålet uppnås också med den inledningsvis angivna kärnbränslestaven för en kärnreaktor av tryckvattentyp, vilken kännetecknas av att det interna trycket av fyllgasen i kärnbränslestaven uppgår till åtminstone 10 bar (abs) och att andelen kolmonoxid är åtminstone 2 volymprocent av fyllgasen.
- 15 Med en sådan kärnbränslestav uppnås motsvarande fördelar i en kärnreaktor av tryckvattentyp som angavs ovan för en kärnreaktor av kokarvattentyp.

- 20 Enligt ytterligare utföringsformer av kärnbränslestaven för en kärnreaktor av tryckvattentyp utgör andelen kolmonoxid åtminstone 3 volymprocent av fyllgasen, åtminstone 4 volymprocent av fyllgasen och mer speciellt åtminstone 5 volymprocent av fyllgasen.

- 25 Enligt en ytterligare utföringsform av uppfinningen har kapslingsröret en inneryta som är vänd mot det inre utrymmet, varvid materialet i kapslingsröret närmast innerytan är föroxi-
- 30 derat och således innefattar zirkoniumoxid. Det är känt att belägga kapslingsrörets inneryta med ett tunt zirkoniumoxidskikt. Ett sådant oxidskikt har en skyddande verkan mot absorption av väte i zirkoniummaterialet. I kombination med tillsatsen av kolmonoxid i enlighet med denna uppfinning kan reduktionen av väteabsorptionen i zirkoniummaterialet således ytterligare avsevärt förbättras.

- Ändamålet uppnås också med det inledningsvis angivna förfarandet för tillverkning av en kärnbränslestav för en kärnreaktor av kokarvattentyp, varvid förfarandet innefattar stegen:
- 5 tillhandahållande av ett kapslingsrör som definierar ett inre utrymme och som är tillverkat av åtminstone ett av materialen i gruppen zirkonium och en zirkoniumbaserad legering, införande av en stapel med kärnbränslekutsar, som är anordnade i det inre utrymmet i kapslingsröret så att kärnbränslekutsarna fyller ut en del av det inre utrymmet, och
- 10 påfyllning av en fyllgas, som innehåller en andel inert gas och en andel kolmonoxid, i det inre utrymmet för att fylla ut resten av det inre utrymmet och tillslutning av det inre utrymmet när ett internt tryck, som uppgår till åtminstone 2 bar (abs), råder i det inre utrymmet,
- 15 varvid andelen kolmonoxid är större än 3 volymprocent av fyllgasen.

- Ändamålet uppnås också med det inledningsvis angivna förfarandet för tillverkning av en kärnbränslestav för en kärnreaktor av tryckvattentyp, varvid förfarandet innefattar stegen:
- 20 tillhandahållande av ett kapslingsrör som definierar ett inre utrymme och som är tillverkat av åtminstone ett av materialen i gruppen zirkonium och en zirkoniumbaserad legering, införande av en stapel med kärnbränslekutsar, som är anordnade i det inre utrymmet i kapslingsröret så att kärnbränslekutsarna fyller ut en del av det inre utrymmet, och
- 25 påfyllning av en fyllgas, som innehåller en andel inert gas och en andel kolmonoxid, i det inre utrymmet för att fylla ut resten av det inre utrymmet och tillslutning av det inre utrymmet när
- 30 ett internt tryck, som uppgår till åtminstone 10 bar (abs), råder i det inre utrymmet,
- varvid andelen kolmonoxid är större än 2 volymprocent av fyllgasen.

- 35 Enligt en utföringsform av kärnbränslestaven innefattar kapslingsröret en inneryta som är vänd mot det inre utrymmet,

- varvid förfarandet kan innefatta steget att förse innerytan med ett ytskikt som innefattar zirkoniumoxid innan kärnbränslekut-sarna och fyllgasen införes i kapslingsröret. I kombination med den tillsatta kolmonoxidgasen ger ett sådant oxidskikt en
- 5 ytterligare reducering av väteabsorptionen i zirkoniummateri-alet.

KORT BESKRIVNING AV RITNINGARNA

- 10 Uppfinningen skall nu förklaras närmare genom en beskrivning av olika utföringsformer och med hänvisning till bifogade ritningar.
- 15 Fig. 1 visar schematiskt en längsgående snittvy av en kärnbränslestav enligt uppfinningen.
- Fig. 2 visar schematiskt en delvis snittad sidovy av en kärnbränslepatron för en kokarvattenreaktor och med ett antal bränslestavar enligt uppfinningen.
- 20 Fig. 3 visar schematiskt en sidovy av en kärnbränslepatron för en tryckvattenreaktor och med ett antal bränslestavar enligt uppfinningen.
- Fig. 4 visar ett diagram över zirkoniumbaserade materials väteabsorptionshastighet vid olika CO/H_2 -förhållanden.
- 25 Fig. 5 visar ett diagram över hur partialtrycket av H_2 i ett slutet utrymme förändras som en funktion av tiden då ett zirkoniumbaserat material exponeras för H_2 i en miljö med olika partialtryck av CO .
- 30 Fig. 6 visar ett annat diagram över hur partialtrycket av H_2 i ett slutet utrymme förändras som en funktion av tiden då ett zirkoniumbaserat material exponeras för H_2 i en miljö där partialtrycket av CO förändras under exponeringen.
- 35 Fig. 7 visar ett diagram över partialtrycket av CO i ett slutet utrymme med Zr som en funktion av tiden.

Fig. 8 visar ett diagram över partialtrycket av CO i ett slutet utrymme med fem bränslekutsar som en funktion av tiden.

5 DETALJERAD BESKRIVNING AV OLIKA UTFÖRINGSFORMER AV UPPFINNINGEN

Fig. 1 visar schematiskt en kärnbränslestav 1 för en kärnreaktor av lättvattentyp. Kärnreaktorn kan vara en kokarvattenreaktor (BWR) eller en tryckvattenreaktor (PWR). Kärnbränslestaven innefattar ett kapslingsrör 2 som definierar ett slutet inre utrymme 3. Kapslingsröret 2 har en första övre ände som är tillsluten med en topplugg 4 och en andra nedre ände som är tillsluten med en bottenplugg 5.

Kapslingsröret 2 är tillverkat av åtminstone ett av materialen i gruppen zirkonium och en zirkonimbaserad legering. En sådan zirkonimbaserad legering kan vara ZIRCALOY-2 eller ZIRCALOY-4. I den visade utföringsformen innefattar kapslingsröret 2 också ett yttre rör 6 och ett inre rör 7, varvid det inre röret 7 bildar en så kallad liner, vilken är tillverkad så att den har metallisk bindning till det yttre röret 6. Det yttre röret 6 kan vara tillverkat av någon av ovan nämnda zirkonimbaserade legeringar medan det inre röret 7 kan vara tillverkat av ren zirkoniummetall. Det skall noteras att kapslingsröret 2 kan innefatta endast ett rör utan liner.

Kärnbränslestaven 1 innefattar också en stapel med bränslekutsar 9 som är anordnade i det inre utrymmet 3 i kapslingsröret 2. Bränslekutsarna 9 som är av konventionell typ innefattar sammanpressad uranoxid. Stapeln med bränslekutsarna 9 fyller ut en del av det inre utrymmet 3, varvid det finns en smal spalt 10 mellan bränslekutsarna 9 och det inre rörets 7 inneryta. Vidare finns ett plenum 11 i det inre utrymmet 3, exempelvis ovanför bränslekutsarna 9 varvid stapeln med

bränslekutsarna 9 pressas mot den nedre bottenpluggen 5 med hjälp av ett fjäderorgan 12.

5 Kärnbränslestaven 1 innehåller också en fyllgas som är anordnad i det inre utrymmet 3 och som fyller ut resten av det inre utrymmet 3, dvs väsentligen spalten 10, nämnda plenum 11 och eventuella spalter mellan bränslekutsarna 9. Fyllgasen innehåller en andel inert gas och en andel kolmonoxid. Fyllgasen består i den visade utföringsformen i allt väsentligt av 10 nämnda andel inert gas och nämnda andel kolmonoxid. Den inerta gasen består i allt väsentligt av helium men även andra inerta gaser kan komma ifråga.

15 Fig 2 visar schematiskt ett exempel på en kärnbränslepatron 15 som är avsedd för en kokarvattenreaktor och som innefattar ett antal kärnbränslestavar 1 enligt föreliggande uppfinning. Bränslestavarna 1 är förbundna med varandra och hålls på korrekt avstånd från varandra med hjälp av ett antal spridare 16. Kärnbränslestavarna 1 kan vidare vara inneslutna i 20 en box 17 som bildar ett delvis visat hölje runt stavarna 1 och som sträcker sig från en nedre platta 18 vid bränslestavarnas 1 nedre ände till en övre platta 19 vid bränslestavarnas 1 övre ände.

25 Fig 3 visar på motsvarande sätt schematiskt ett exempel på en kärnbränslepatron 25 för en tryckvattenreaktor. Kärnbränslepatronen 25 innefattar också kärnbränslestavar 1 enligt föreliggande uppfinning och ett antal spridare 26 längs bränslepatronens 25 längd. Spridarna har i detta fall också till 30 uppgift att gripa led rör 27 som sträcker sig genom knippet av bränslestavar 1 och som i sina nedre ändar är förbundna med ett bottenorgan 28 och vid sina övre ändar med ett topporgan 29.

35 Kapslingsröret 2 hos bränslestaven kan på sin inneryta, dvs på det inre rörets 7 inneryta, eller på det yttre rörets 6 in-

neryta om liner saknas, vara föroxiderat. Det innebär att ett tunt oxidskikt har framställts på innerytan innan kärnbränslestaven 1 monteras, dvs innan bränslekutsarna 9 införs i kapslingsröret 2, fyllgasen tillsätts och kapslingsröret 2 tillsluts. Innerytan bildas således av ett ytskikt som innefattar zirkoniumoxid eller väsentligen består av zirkoniumoxid. Ett sådant zirkoniumoxidskikt eller en sådan zirkoniumoxidbeläggning kan vara mycket tunt med en tjocklek som är mindre än 2 μm och företrädesvis mindre än 1 μm . Företrädesvis framställs oxidskiktet med hjälp av autoklaving, anodisering eller exponering i torr syrgas, varvid en hög täthet kan åstadkommas hos oxidskiktet.

Sökanden har låtit genomföra laboratorieundersökningar som visar att en mindre CO-tillsats i väte minskar den hastighet med vilken ett zirkoniumbaserat material, föroxiderat eller ej, absorberar väte. Resultatet av dessa undersökningar indikeras i Fig 4 till 8.

Fig. 4 visar ett diagram över väteabsorptionshastigheten vid 400°C vid olika CO/H₂-förhållanden för föroxiderat zirkoniummaterial (föroxiderad Zircaloy-2, Zr₂O₃) och icke föroxiderat zirkoniummaterial (ren zirkonium, Zr). Såsom framgår får man för ren zirkonium en 10-faldig reducering av väteabsorption vid ppCO/ppH₂ ungefär lika med 0,2 i jämförelse med om ingen CO har tillsats. För en föroxiderad zirkoniumbaserad legering får man motsvarande 10-faldiga reducering redan vid ppCO/ppH₂ ungefär lika med 0,04.

Fig. 5 visar ett diagram över absorptionen av väte vid 400°C i en föroxiderad zirkoniumlegering (Zircaloy-2), varvid framgår att ppH₂ i ett slutet utrymme med innehållande en föroxiderad zirkoniumlegering är väsentligen konstant över tiden vid ppCO = 2mbar och ppCO/ppH₂ = 0,14.

Fig. 6 visar ett annat diagram över absorptionen av väte vid 400°C i föroxiderad Zircaloy-2, varvid CO tillsätts efter cirka 400 min så att ppH_2 uppgår till 2,5mbar och $ppCO/ppH_2 = 0,04$. En tydlig minskning av väteabsorptionen kan då observeras.

Fig. 7 visar ett diagram över partialtrycket av CO i ett slutet utrymme med Zr som en funktion av tiden. Såsom framgår av diagrammet kommer CO-gasen ej att absorberas av Zr även om CO-molekyler adsorberas på zirkoniumytan.

Fig. 8 visar ett diagram över partialtrycket av CO i ett slutet utrymme med fem bränslekutsar som en funktion av tiden. Såsom framgår av diagrammet absorberas ingen CO av bränslekutsarna vid 400°C och ej heller vid 600°C.

Vid exponering av zirkonium-baserade legeringar, exempelvis Zircaloy-2 eller Zircaloy-4, i vätgasatmosfär med varierande partialtryck av kolmonoxid, $ppCO$, visar de undersökningar som har gjorts således att ett relativt lågt partialtryck av kolmonoxid ($ppCO/ppH_2$ ungefär lika med 0,2, se Fig 4) har en drastisk effekt på den hastighet med vilken metallen absorberar väte. Absorptionshastigheten sänks med ungefär en faktor tio jämfört med det fall då metallen exponeras i ren vätgas. Effekten accentueras då det zirkonium-baserade materialet föroxideras. I detta fall har en drastiskt reducerad absorptionshastighet observerats redan då $ppCO/ppH_2$ är ungefär lika med 0,04. Undersökningarna visar också att en föroxidering i sig kraftigt minskar väteabsorptionshastigheten, men att en föroxidering i kombination med tillsats av kolmonoxid drastiskt ytterligare sänker absorptionshastigheten, se Fig 4. I detta fall är absorptionshastigheten, vid $ppCO/ppH_2 = 0,04$, ungefär en faktor 100 lägre än då icke föroxiderat zirkonium-baserat material exponeras i vätgas och absorptionshastigheten kan sänkas ytterligare om partialtrycket kolmonoxid höjs.

- Under antagandet att man på avstånd från en primärskada omedelbart efter det att skadan uppkommit har en blandning av den initiala fyllgasen, i detta fall He och CO, och vätgas och att värdet $ppCO/ppH_2$ bör överstiga ett visst kritiskt värde, F_{krit} , kan man uppskatta vilket minsta $ppCO$ som fyllgasen bör innehålla. Då det i detta fall är det absoluta värdet av $ppCO$ som är av intresse är konsekvensen att $ppCO/ppHe$ kan minska med ökande $ppCO+ppHe$ under antagande att reaktorns systemtryck är konstant. Det senare är ett rimligt antagande, men innebär att valet av $ppCO$ kan variera mellan bränslestavar som tillverkas för kokarvattenreaktorer (BWR), där systemtrycket, P_{sys} , typiskt är omkring 70 bar, och tryckvattenreaktorer (PWR), där systemtrycket, P_{sys} , normalt är omkring 150 bar.
- Om en bränslestavs fylltryck vid rumstemperatur, T_R , är P_{fill} och trycket i en bränslestav ökar med en faktor A (typiskt 2-3) då bränslestavens temperatur ökar från rumstemperatur, T_R , till drifttemperatur, så kommer bränslestaven initialt vid drift att ha ett intern tryck, P_i , som är $P_i = P_{fill} \cdot A$. Om P_{sys} är systemtrycket och om tryckjämvikt mellan stavens inre tryck och systemtrycket uppstår efter en primärskada innebär det att ppH_2O+ppH_2 medelvärdesbildat över bränslestavens hela längd efter en primärskada kan antas vara $ppH_2O+ppH_2=P_{sys}-P_i$. På avstånd från primärskadan är ppH_2O under tiden direkt efter det att en primärskada uppstår försumbart medan ppH_2 är relativt sett mycket högt beroende på vattenmolekylernas snabba reaktion med kapslingens insida, under bildandet av zirkoniumoxid och frigörande av väte, i kombination med vätgasens högre diffusionshastighet såsom angavs ovan. Man kan på avstånd från primärskadan under den aktuella tidsperioden anta att gasen lokalt består av en blandning av fyllgasen (He+CO) och H_2 och att ppH_2 lokalt uppfyller sambandet:

$$P_{sys}-P_i < ppH_2 < P_{sys}.$$

Eftersom fraktionen $ppCO/ppH_2$ bör vara över ett visst kritiskt minsta värde, F_{krit} , och $ppCO$ vid drifttemperatur är $ppCO(T_R)*A$, så bör $ppCO(T_R)$ vara

$$5 \quad ppCO(T_R) = F_{krit} * ppH_2 / A = F_{krit} * (P_{sys} - P_l) / A = F_{krit} * (P_{sys} - P_{fill} * A) / A.$$

- I tabellen nedan visas olika exempel på mängden CO uttryckt som partialtryck och volymprocent i en BWR och PWR för olika värden på P_{fill} , F_{krit} och A . Ytterligare värden på mängden CO kan enkelt beräknas med hjälp av formeln ovan för andra värden på P_{fill} , P_{sys} , F_{krit} , och A . I tabellen exemplifieras F_{krit} 0,02 och 0,03. Redan vid dessa två relativt låga CO-halter i förhållande till vätgasmängden erhålls såsom framgår av Fig 4 en avsevärd reducering av väteabsorptionen, i synnerhet om zirkoniumytan är föroxiderad. Inom ramen för föreliggande uppfinning kan man välja en lägre reduktion av väteabsorptionen och således en lägre mängd kolmonoxid i fyllgasen än den som anges i tabellen nedan för specifika interna tryck P_{fill} . Om zirkoniumytan ej är oxiderad bör F_{krit} vara något högre såsom framgår av Fig 4, vilket leder till en initialt högre volymprocent CO.

P_{fill} bar (abs)	P_{sys} bar (abs)	F_{krit}	A	$ppCO$ bar (abs)	Vol- % CO
2	70	0,02	2	0,66	33,0
3	70	0,02	2	0,64	21,3
4	70	0,02	2	0,62	15,5
4	70	0,02	2,5	0,48	12,0
4	70	0,02	3	0,39	9,75
4	70	0,03	2	0,93	23,3
4	70	0,03	2,5	0,72	18,0
4	70	0,03	3	0,68	17,0
5	70	0,02	2	0,60	12,0
5	70	0,02	2,5	0,46	9,20
5	70	0,02	3	0,43	8,60
5	70	0,03	2	0,90	18,0
5	70	0,03	2,5	0,81	16,2

5	70	0,03	3	0,65	13,0
6	70	0,02	2	0,58	9,6
6	70	0,02	2,5	0,44	7,3
6	70	0,02	3	0,34	5,7
7	70	0,02	2	0,56	8,0
7	70	0,02	2,5	0,42	6,0
7	70	0,02	3	0,33	4,6
10	150	0,02	2	1,3	13,0
15	150	0,02	2	1,2	8,00
20	150	0,02	2	1,1	5,50
20	150	0,02	2,5	0,8	4,00
20	150	0,02	3	0,6	3,00
20	150	0,03	2	1,65	8,25
20	150	0,03	2,5	1,2	6,00
20	150	0,03	3	0,9	4,50
25	150	0,02	2	1,0	4,00
25	150	0,02	2,5	0,75	3,00
25	150	0,02	3	0,5	2,00
25	150	0,03	2	1,5	6,00
25	150	0,03	2,5	1,05	4,20
25	150	0,03	3	0,75	3,00

Uppfinningen är inte begränsad till de visade utföringsformer-
na utan kan varieras och modifieras inom ramen för de efter-
följande patentkraven.

Patentkrav

1. Kärnbränslestav för en kärnreaktor av kokarvattentyp, innefattande
- 5 ett kapslingsrör (2), som definierar ett slutet inre utrymme (3) och som är tillverkat av åtminstone ett av materialen i gruppen zirkonium och en zirkoniumbaserad legering, en stapel med kärnbränslekutsar (9), anordnade i det inre utrymmet i kapslingsröret så att kärnbränslekutsarna fyller ut en
- 10 del av det inre utrymmet (3), och en fyllgas anordnad i det slutna inre utrymmet (3) för att fylla ut resten av det inre utrymmet, varvid fyllgasen innehåller en andel inert gas och en andel kolmonoxid,
- 15 kännetecknad av att det interna trycket (P_{fill}) av fyllgasen i kärnbränslestaven uppgår till åtminstone 2 bar (abs) vid rumstemperatur (T_R) och att andelen kolmonoxid är åtminstone 3 volymprocent av fyllgasen.
- 20 2. Kärnbränslestav enligt krav 1, kännetecknad av att andelen kolmonoxid utgör åtminstone 4 volymprocent av fyllgasen.
- 25 3. Kärnbränslestav enligt krav 2, kännetecknad av att andelen kolmonoxid utgör åtminstone 5 volymprocent av fyllgasen.
- 30 4. Kärnbränslestav enligt krav 3, kännetecknad av att andelen kolmonoxid utgör åtminstone 6 volymprocent av fyllgasen.
5. Kärnbränslestav för en kärnreaktor av tryckvattentyp, innefattande
- 35 ett kapslingsrör (2), som definierar ett slutet inre utrymme (3) och som är tillverkat av åtminstone ett av materialen i gruppen zirkonium och en zirkoniumbaserad legering,

en stapel med kärnbränslekutsar (9), anordnade i det inre utrymmet i kapslingsröret så att kärnbränslekutsarna fyller ut en del av det inre utrymmet, och
en fyllgas anordnad i det slutna inre utrymmet (3) för att fylla
5 ut resten av det inre utrymmet,
varvid fyllgasen innehåller en andel inert gas och en andel kolmonoxid,
kännetecknad av att det interna trycket (P_{fill}) av fyllgasen i
kärnbränslestaven uppgår till åtminstone 10 bar (abs) vid
10 rumstemperatur (T_R) och att andelen kolmonoxid är åtminstone 2 volymprocent av fyllgasen.

6. Kärnbränslestav enligt krav 5, kännetecknad av att andelen kolmonoxid utgör åtminstone 3 volymprocent av fyllgasen.
15

7. Kärnbränslestav enligt krav 6, kännetecknad av att andelen kolmonoxid utgör åtminstone 4 volymprocent av fyllgasen.
20

8. Kärnbränslestav enligt krav 7, kännetecknad av att andelen kolmonoxid utgör åtminstone 5 volymprocent av fyllgasen.
25

9. Kärnbränslestav enligt något av de föregående kraven, kännetecknad av att kapslingsröret (2) har en inneryta som är vänd mot det inre utrymmet (3) och att materialet i kapslingsröret närmast innerytan är föroxiderat och således är försett med ett ytskikt som innefattar zirkoniumoxid.
30

10. Kärnbränslestav enligt något av de föregående kraven, kännetecknad av att den inerta gasen väsentligen består av helium.
35

11. Kärnbränslepatron innefattande ett antal kärnbränslestavar (1) enligt något av de föregående kraven.

12. Förfarande för tillverkning av en kärnbränslestav för en kärnreaktor av kokarvattentyp, innefattande stegen:
- tillhandahållande av ett kapslingsrör som definierar ett inre utrymme och som är tillverkat av åtminstone ett av materialen i gruppen zirkonium och en zirkonimbaserad legering, införande av en stapel med kärnbränslekutsar, som är anordnade i det inre utrymmet i kapslingsröret så att kärnbränslekutsarna fyller ut en del av det inre utrymmet, och
- 5 påfyllning av en fyllgas, som innehåller en andel inert gas och en andel kolmonoxid, i det inre utrymmet för att fylla ut resten av det inre utrymmet och tillslutning av det inre utrymmet när ett internt tryck, som uppgår till åtminstone 2 bar (abs) vid rumstemperatur (T_R), råder i det inre utrymmet,
- 10 varvid andelen kolmonoxid är större än 3 volymprocent av fyllgasen.

13. Förfarande för tillverkning av en kärnbränslestav för en kärnreaktor av tryckvattentyp, innefattande stegen:
- 20 tillhandahållande av ett kapslingsrör som definierar ett inre utrymme och som är tillverkat av åtminstone ett av materialen i gruppen zirkonium och en zirkonimbaserad legering, införande av en stapel med kärnbränslekutsar, som är anordnade i det inre utrymmet i kapslingsröret så att kärnbränslekutsarna fyller ut en del av det inre utrymmet, och
- 25 påfyllning av en fyllgas, som innehåller en andel inert gas och en andel kolmonoxid, i det inre utrymmet för att fylla ut resten av det inre utrymmet och tillslutning av det inre utrymmet när ett internt tryck, som uppgår till åtminstone 10 bar (abs) vid rumstemperatur (T_R), råder i det inre utrymmet,
- 30 varvid andelen kolmonoxid är större än 2 volymprocent av fyllgasen.

14. Förfarande enligt något av kraven 12 och 13, varvid kapslingsröret har en inneryta som är vänd mot det inre utrymmet och varvid innerytan förses med ett ytskikt som innefattar zir-
- 35

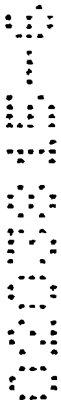
koniumoxid innan kärnbränslekutsarna införes i kapslingsröret.

140808

Sammandrag

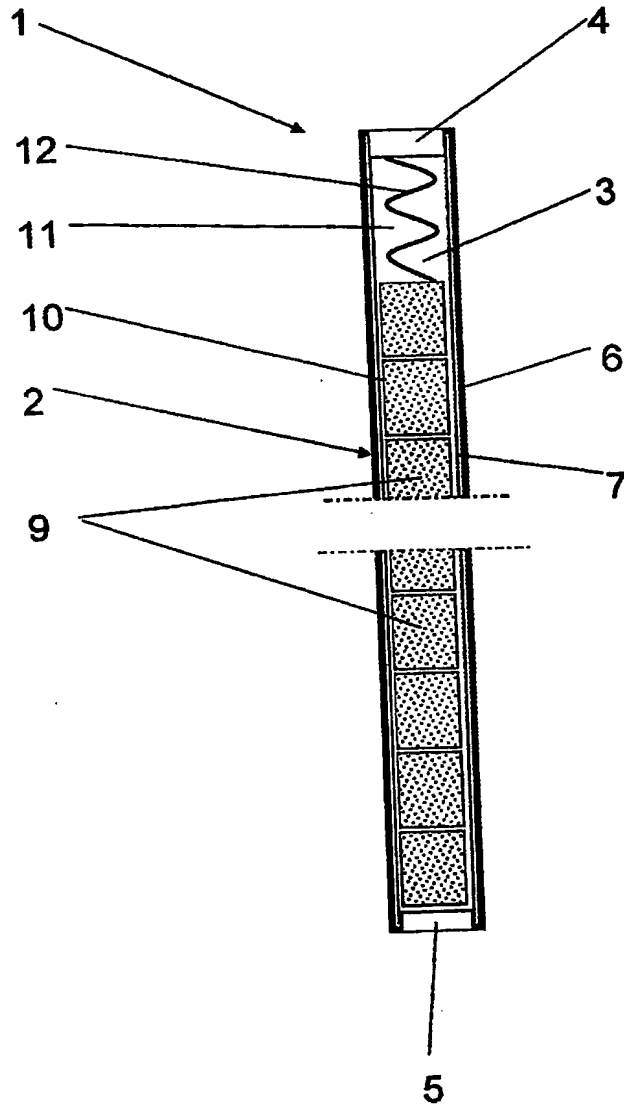
Uppfinningen avser en kärnbränslestav (1) för en kärnreaktor av kokarvattentyp eller tryckvattenvattentyp. Kärnbränslestaven innefattar ett kapslingsrör (2), som definierar ett slutet inre utrymme (3) och som är tillverkat av åtminstone ett av materialen i gruppen zirkonium och en zirkonimbaserad legering, och en stapel med kärnbränslekutsar (9) anordnade i det inre utrymmet i kapslingsröret så att kärnbränslekutsarna fyller ut en del av det inre utrymmet. En fyllgas är anordnad i det slutna inre utrymmet för att fylla ut resten av det inre utrymmet. Det interna trycket av fyllgasen i kärnbränslestaven uppgår till åtminstone 2 bar (abs) eller åtminstone 10 bar (abs). Fyllgasen innehåller en andel inert gas och en andel kolmonoxid. Andelen kolmonoxid är större än 3 volymprocent av fyllgasen respektive större än 2 volymprocent av fyllgasen.

20 (Fig 1)



1/5

Fig 1



2/5

Fig 2

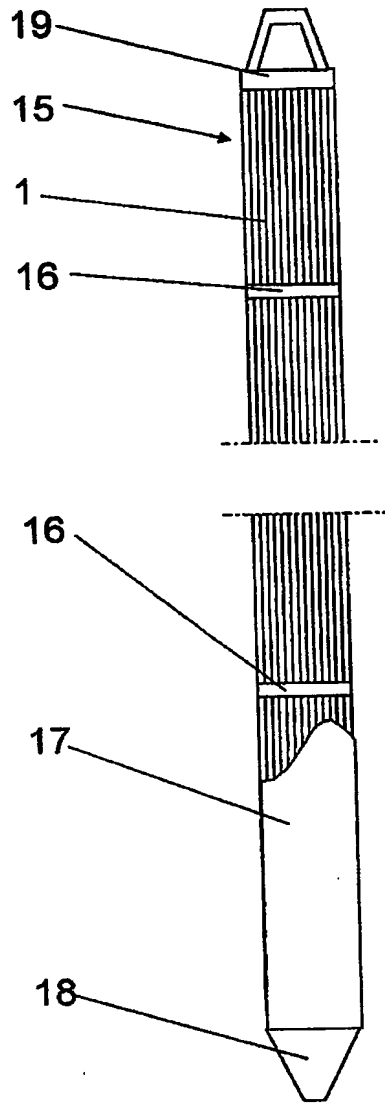


Fig 3

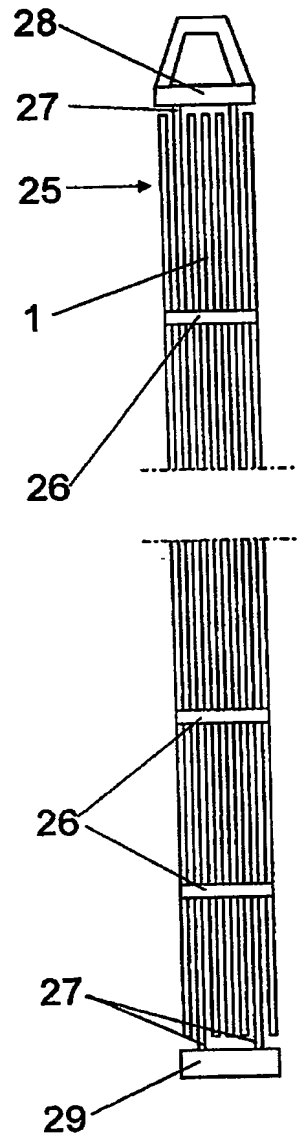


Fig 4

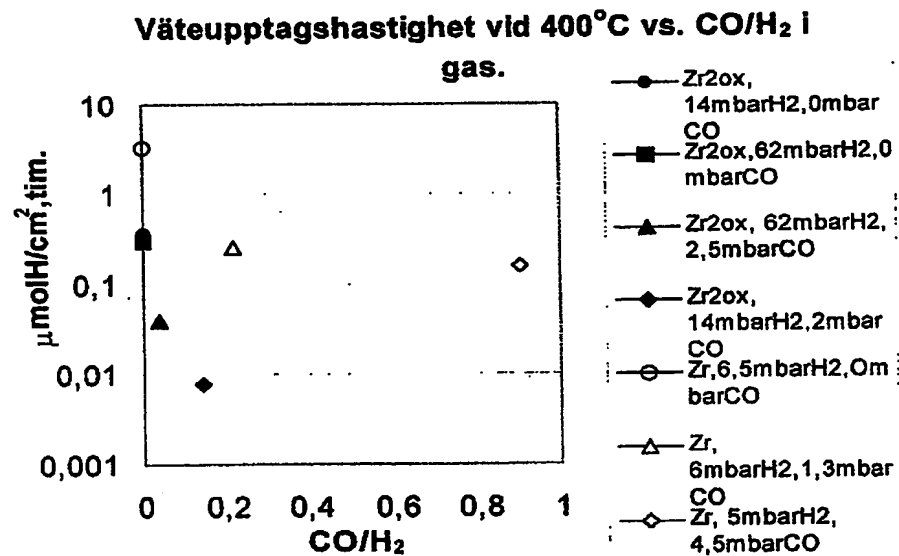
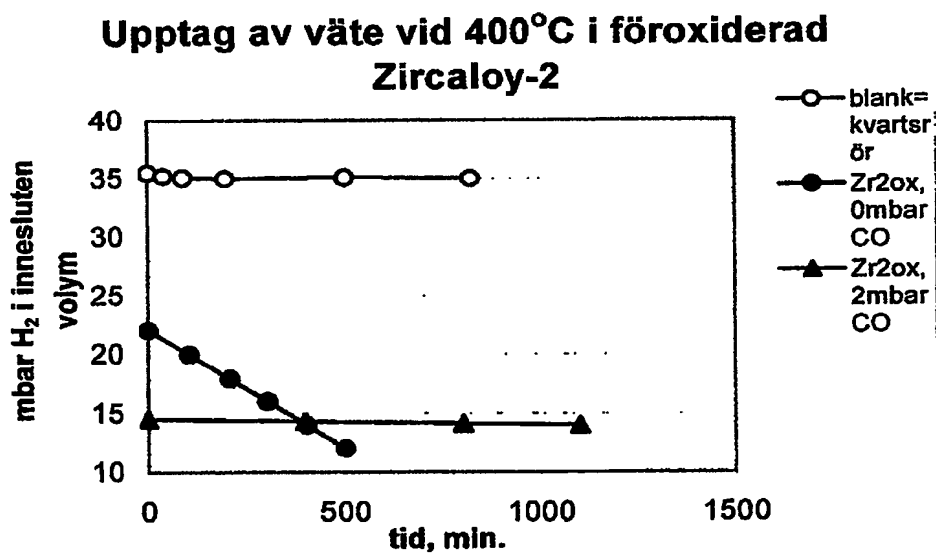


Fig 5



4/5

Fig 6

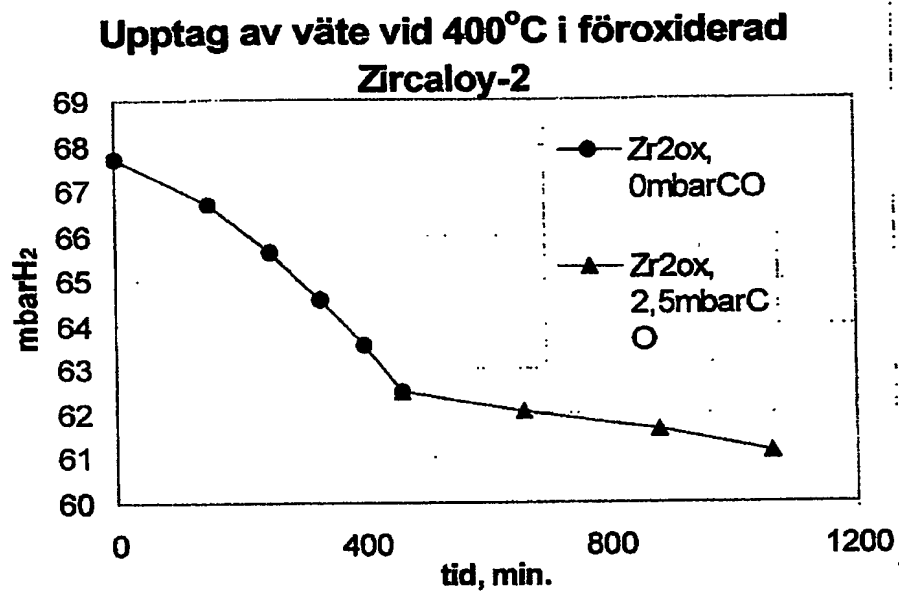


Fig 7

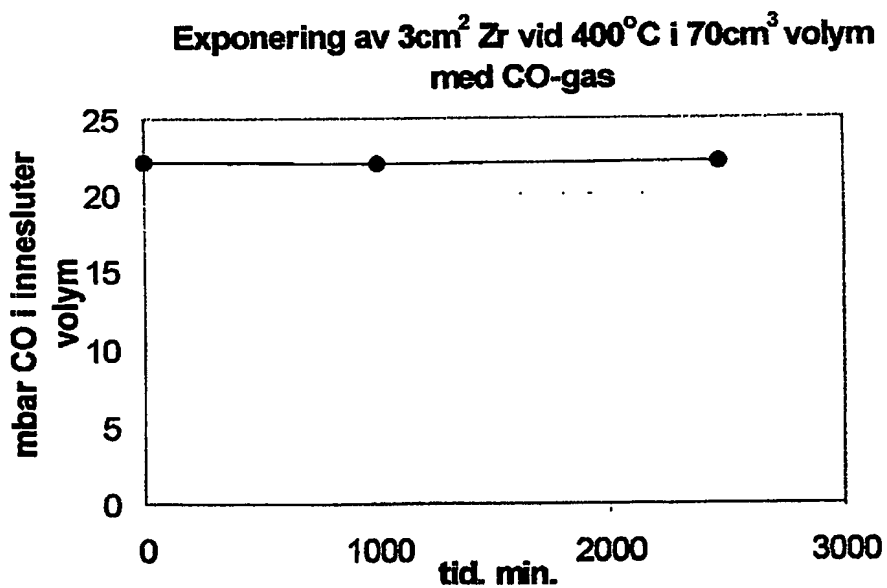
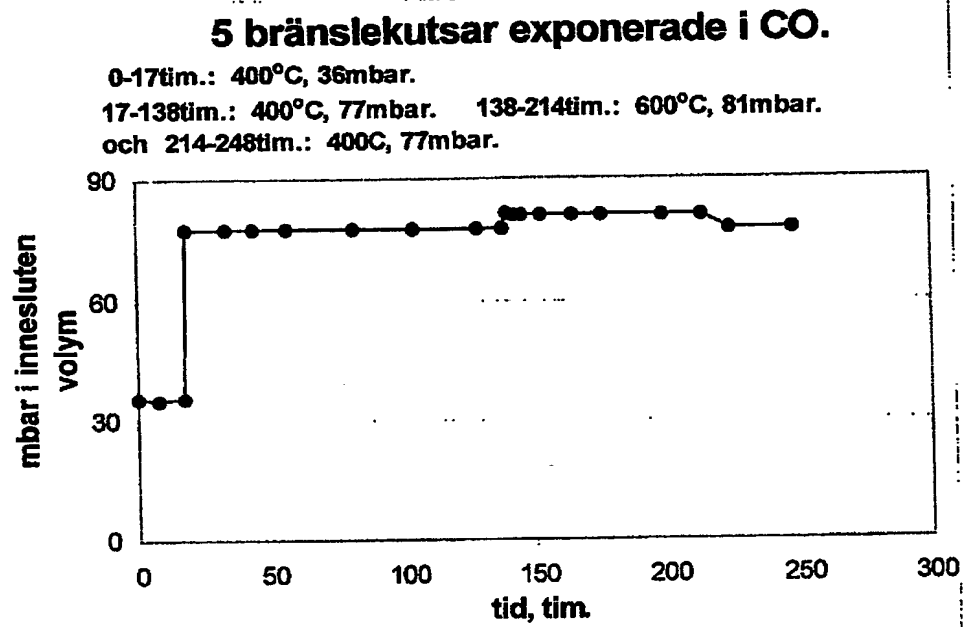


Fig 8



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.